



УДК 621.313.3

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ПОСТОЯНСТВЕ КОЭФФИЦИЕНТА СДВИГА ТОКА

THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE WITH A CONSTANT SHEAR COEFFICIENT OF THE CURRENT

Мукаев Эдуард Робертович, магистрант каф. «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: edik.130994.mukaev@yandex.ru. Тел.: +7(343)375-46-46

Поляков Владимир Николаевич, д-р. техн. наук, профессор каф. «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: v.n.polyakov@urfu.ru. Тел.: +7(343)375-46-46

Eduard R. Mukaev, Master student, Department «Electric Drives and Automation of Industrial Enterprises», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Mira str, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: edik.130994.mukaev@yandex.ru. Ph.: +7(343)375-46-46

Vladimir N. Polyakov, Doctor Sc., Prof., Department «Electric Drives and Automation of Industrial Enterprises», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: v.n.polyakov@urfu.ru. Ph.: +7(343)375-46-46

Аннотация: В данной статье исследуются механические характеристики частотно-регулируемого асинхронного электропривода с системой скалярного управления при реализации режима, обеспечивающего постоянный угол сдвига между основными гармониками тока и напряжения статора. Приводится методика расчета механических характеристик.

Abstract: This article investigates the mechanical characteristics of a frequency-controlled asynchronous electric drive with a scalar control system in the implementation of a regime providing a constant shear angle between current harmonics and stator voltage. The method of calculation of mechanical characteristics is given.

Ключевые слова: электропривод; скалярное управление; механические характеристики; режим постоянства коэффициента сдвига тока.

Keywords: electrical drive; scalar control; mechanical characteristics; regime of constancy of the current shear coefficient.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из главных тенденций развития современного электропривода является использование его в целях сбережения энергетических ресурсов. При этом важной становится задача повышения энергетической эффективности регулируемого электропривода.

Известно, что энергетическую эффективность асинхронного электропривода с разомкнутой системой скалярного управления можно повысить, применяя специальные законы частотного управления. Так, в разомкнутой по скорости системе скалярного управления асинхронного электропривода может быть реализован энергосберегающий режим путем поддержания постоянного коэффициента сдвига

тока [1]. В этом случае суммарные потери мощности в двигателе близки к минимальным потерям.

Вопрос энергосбережения и динамика при постоянстве коэффициента сдвига тока исследовались в работах [1, 2]. Однако остаются неизвестными статические характеристики электропривода, перегрузочная способность и диапазон регулирования, получаемые при использовании режима постоянства коэффициента сдвига тока.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК

Известно [3], что асинхронный двигатель как объект оптимизации обладает тремя степенями свободы. Тогда с учетом особенности построения

разомкнутой системы скалярного управления модель асинхронного двигателя для анализа возможности энергосбережения в частотно-регулируемом асинхронном электроприводе может быть представлена схемой, изображенной на рис. 1. Здесь в число степеней свободы включены частота напряжения статора (ω_s), электромагнитный момент (m) и абсолютное скольжение (β) двигателя. Выбор этих величин объясняется тем, что ω_s и m , как правило, являются известными величинами, а β – свободной варьируемой переменной. В модели двигателя они рассматриваются независимыми входными воздействиями. При фиксированных значениях ω_s и m путем варьирования β можно изменять состояние асинхронного двигателя. Оценка состояния асинхронного двигателя может характеризоваться одним либо совокупностью показателей энергетической эффективности: активной (p_s), реактивной (q_s), полной (s_s) мощностями, потребляемыми от преобразователя частоты; мощностью потерь энергии в двигателе (Δp), коэффициентом сдвига тока (χ) и другими.

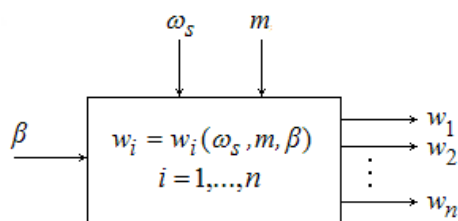


Рис. 1. Модель асинхронного двигателя для решения задачи энергосбережения при независимых воздействиях ω_s , m и β

Модель, приведенная на рис. 1, позволяет при соответствующей стратегии поиска находить для заданных ω_s и m наилучшее в смысле критерия энергетической эффективности соотношение между амплитудой (u_s) и частотой (ω_s) напряжения статора (закон частотного управления) путем варьирования абсолютного скольжения.

Используя данную модель, можно выполнить расчет семейства механических характеристик для режима постоянства коэффициента сдвига тока. Для этого сначала задается частота (ω_s), при которой будет рассчитываться механическая характеристика. Затем выбирается момент и вычисляется соответствующая ему скорость по механической характеристике. Скорость находится путем варьирования абсолютного скольжения (β) по формуле:

$$\omega = \omega_s - \beta. \quad (1)$$

Изменение абсолютного скольжения происходит до тех пор, пока коэффициент сдвига тока не

будет равен номинальному значению. Достигнув равенства, фиксируется скорость, полученная по формуле (1), и расчет продолжается для следующего значения момента.

При необходимости может быть произведен расчет энергетических и электромеханических характеристик по уравнениям, приведенным ниже. Для этого математическую модель асинхронного двигателя как объекта оптимизации можно представить уравнениями электромеханических и энергетических процессов. Следует заметить, что в моделях асинхронных двигателей как объектов оптимизации важная роль отводится уравнениям, записанным в системе координат, ориентированной по вектору потокоцеплений ротора. В этом случае модель двигателя имеет наиболее простой вид. Тогда при условии ориентации системы координат ($\psi_{rx}=\psi_r$, $\psi_{ry}=0$) электромеханические установившиеся процессы в двигателе будут описываться уравнениями [3]:

$$\begin{aligned} i_{rx} &= 0; \\ i_{ry} &= (r_r^{-1} m \beta)^{1/2}; \\ \psi_{rx} &= -\beta^{-1} r_r i_{ry}; \\ \psi_{ry} &= 0; \\ \psi_{mx} &= \psi_{rx} - l_{\sigma} i_{rx}; \\ \psi_{my} &= \psi_{ry} - l_{\sigma} i_{ry}; \\ \psi_m &= (\psi_{mx}^2 + \psi_{my}^2)^{1/2}; \\ l_m &= (a + b \psi_m^{\tau})^{-1}; \\ i_{mx} &= \psi_{mx} / l_m; \\ i_{my} &= \psi_{my} / l_m; \\ \psi_{sx} &= \psi_{mx} + l_{\sigma} i_{sx}; \\ \psi_{sy} &= \psi_{my} + l_{\sigma} i_{sy}; \\ u_{sx} &= r_s i_{sx} - \omega_s \psi_{sy}; \\ u_{sy} &= r_s i_{sy} + \omega_s \psi_{sx}. \end{aligned}$$

Модель энергетических процессов асинхронного двигателя может быть представлена следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} u_s &= (u_{sx}^2 + u_{sy}^2)^{1/2}; \\ i_s &= (i_{sx}^2 + i_{sy}^2)^{1/2}; \\ i_r &= (i_{rx}^2 + i_{ry}^2)^{1/2}; \\ p_s &= (u_{sx} i_{sx} + u_{sy} i_{sy}); \\ s_s &= u_s i_s; \\ \cos \varphi_s &= p_s / s_s. \end{aligned}$$

По описанной методике был выполнен расчет механических характеристик для асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором 4A132M2Y3. Данные двигателя взяты из источника [4].

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ПОСТОЯНСТВЕ КОЭФФИЦИЕНТА СДВИГА ТОКА

Механические характеристики при постоянстве коэффициента сдвига тока представлены на рис. 2. Пунктирной линией показана граница механических характеристик в этом режиме. Она обусловлена тем, что при увеличении момента нагрузки характеристика коэффициента сдвига тока не пересекается с линией номинального значения.

Выявлено, что при постоянстве коэффициента сдвига тока, равного номинальному значению, диапазон регулирования скорости составляет $D=10:1$. Ограничение диапазона скорости снизу

связано с тем, что при низких скоростях график коэффициента сдвига тока не имеет точек пересечения с номинальным значением.

На рис. 2 видно, что при снижении частоты перегрузочная способность увеличивается. Наименьшее значение перегрузочной способности $\lambda_m=2,2$ при частоте $\omega_s=1$, которая соответствует каталожному значению двигателя. При уменьшении скорости перегрузочная способность возрастает и при $\omega_s=0,1$ перегрузочная способность достигает $\lambda_m=6,2$. В этом диапазоне регулирования скорости 10:1 характеристики сохраняют одинаковую жесткость при фиксированном значении момента.

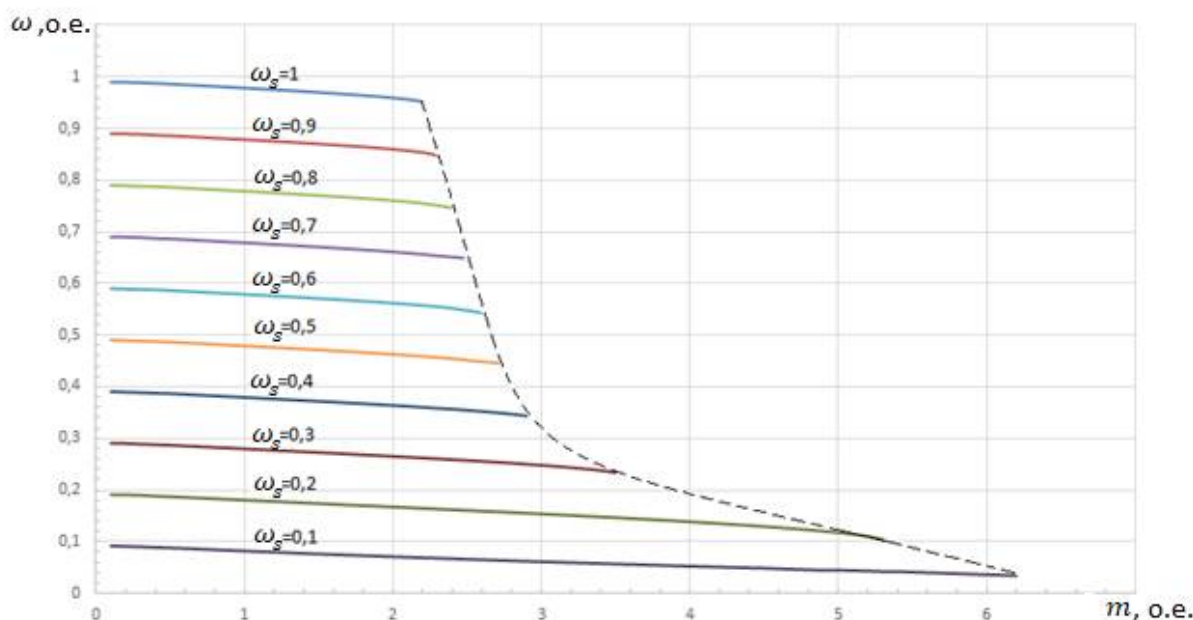


Рис. 2. Механические характеристики асинхронного электропривода при постоянстве коэффициента сдвига тока

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Характеристики, полученные при постоянном коэффициенте сдвига тока, обладают одинаковой жесткостью и практически линейные. Перегрузочная способность увеличивается со снижением частоты. Диапазон регулирования при реализации данного режима на примере двигателя 4A132M2Y3 составляет $D=10:1$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. On the Energy Optimized Control of Standard and High-Efficiency Induction Motors in CT and HVAC Applications / F. Abrahamsen, F. Blaabjerg, J.K. Pedersen, P.Z. Grabowski, P. Thogersen // IEEE Transaction On Industry Application, Vol. 34 No. 4, July/August 1998.

2. Динамика контура оптимизации режимов асинхронного двигателя в системе скалярного управления / В.Н. Поляков, М.Ю. Бородин, Н.Н. Ганжа, М.Е. Бортников // Сборник научных трудов "Вестник НТУ "ХПИ": Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. № 36 – Вестник НТУ "ХПИ", 2013.
3. Поляков В.Н. Экстремальное управление электрическими двигателями / В.Н. Поляков, Р.Т. Шрейнер; под общей ред. д-ра техн. наук, проф. Р.Т. Шрейнера. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2006. 420 с.
4. Асинхронные двигатели серии 4А: справочник А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с.